

AValiação de Impacto *ex ante* da Adoção do Ativo Tecnológico Cana Flex para Produção de Etanol de Segunda Geração

EX ANTE IMPACT ASSESSMENT OF THE ADOPTION OF TECHNOLOGICAL ASSET FLEX SUGARCANE FOR SECOND GENERATION ETHANOL PRODUCTION

Rosana do Carmo Nascimento Guiducci
Embrapa Agroenergia
Rosana.guiducci@embrapa.br

Hugo Bruno Correa Molinari
Embrapa Agroenergia
hugo.molinari@embrapa.br

Thályta Fraga Pacheco
Embrapa Agroenergia
thalyta.pacheco@embrapa.br

Adilson Kenji Kobayashi
Embrapa Agroenergia
adilson.kobayashi@embrapa.br

Grupo de Estudo (GT): 8. Pesquisa, inovação e extensão rural

Resumo

O presente estudo avaliou o impacto *ex ante* de uma cultivar de cana-de-açúcar voltada para o melhor aproveitamento da biomassa na produção de etanol de segunda geração (E2G). Foram feitas estimativas de ganhos econômicos em cenários de adoção da tecnologia, tendo como fonte de receita a produção de E2G e a comercialização de créditos de descarbonização (CBIOS), no âmbito do Programa Nacional de Biocombustível (RenovaBio). Avaliou-se também o retorno do investimento em P&D frente aos ganhos esperados. Os resultados evidenciaram que se 10% do bagaço de cana produzido na safra 2018/19 fosse destinado à produção de E2G, o diferencial da Cana Flex comparado a uma variedade não modificada implicaria em aumento de 393.263,6 m³ na produção de E2G, com redução de emissão de 748.983,06 tCO₂eq, gerando ganhos de R\$ 37,4 milhões na comercialização de CBios. O investimento em P&D retornou uma TIR de 47% e VPL de R\$ 87,9 milhões em 20 anos. Os resultados indicam que a Cana Flex tem grande potencial para contribuir na viabilidade econômica do E2G no Brasil, elevando a produção, com ganhos econômicos ao setor produtivo, além de contribuir para o alcance das metas brasileiras de redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Palavras-chave: biocombustível, RenovaBio, cana-de-açúcar, Pesquisa e Desenvolvimento

Abstract

This study rely on the ex ante impact assessment of a variety of sugarcane aimed for a better utilization of biomass in the production of second generation ethanol (SGE). Estimates of economic gains were made in scenarios of adoption of the technology, having as revenue the production of SGE and the commercialization of decarbonization credits (CBIOS), under the

National Biofuel Program (RenovaBio). The return on investment in R&D was also assessed. The results indicate that if 10% of the sugarcane bagasse produced in the 2018/19 harvest was used for SGE production, the Flex Sugarcane differential compared to an unmodified variety would imply an increase of 393,263.6 m³ in SGE production, with a reduction emission of 748,983.06 tCO₂eq, and also generating gains of R\$ 37.4 million in CBios's sale. The investment in R&D returned an IRR of 47% and NPV of R\$ 87.9 million in 20 years. The results indicate that Flex Sugarcane has great potential to contribute to the economic viability of SGE in Brazil, increasing production, with economic gains for the productive sector, and also contributing to the achievement of the Brazilian goals for reduction of Greenhouse Gas Emissions (GHG).

Key words: biofuel, RenovaBio, sugar cane, Research and Development

1. Introdução

O Brasil ocupa uma posição de destaque na geração de energia renovável de biomassa. O caso da cadeia agroindustrial de etanol é emblemático, sendo fruto de anos de investimento em pesquisa, desenvolvimento e utilização de tecnologia, disponibilidade de crédito, expansão de área agrícola, capacidade de processamento e estruturação da cadeia.

Em consequência, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o segundo maior produtor de açúcar e etanol. No mercado global, é responsável por mais da metade de todo o açúcar comercializado no mundo, além de ser o maior exportador de etanol. Em 2018/2019 a produção mundial de açúcar foi de 178,926 milhões de toneladas. Os três maiores produtores mundiais neste ano foram a Índia, com 33,07 milhões de toneladas (18,5%), seguida pelo Brasil, 29,5 milhões de toneladas (16,5%) e União Europeia, 18,175 milhões de toneladas (10,2%) (USDA, 2019).

Já a produção mundial de etanol atingiu 108,15 bilhões de litros em 2018, sendo 60,8 bilhões de litros produzidos pelos Estados Unidos (56%), 29,98 bilhões de litros pelo Brasil (28%) e 5,41 bilhões de litros pela União Europeia (5%) (RFA, 2019). Entre 2014 e 2018, a produção de etanol no mundo cresceu 14%. No Brasil cresceu 17%, com pico de produção em 2018. O ranking dos maiores produtores de etanol permaneceu inalterado neste período (Figura 1).

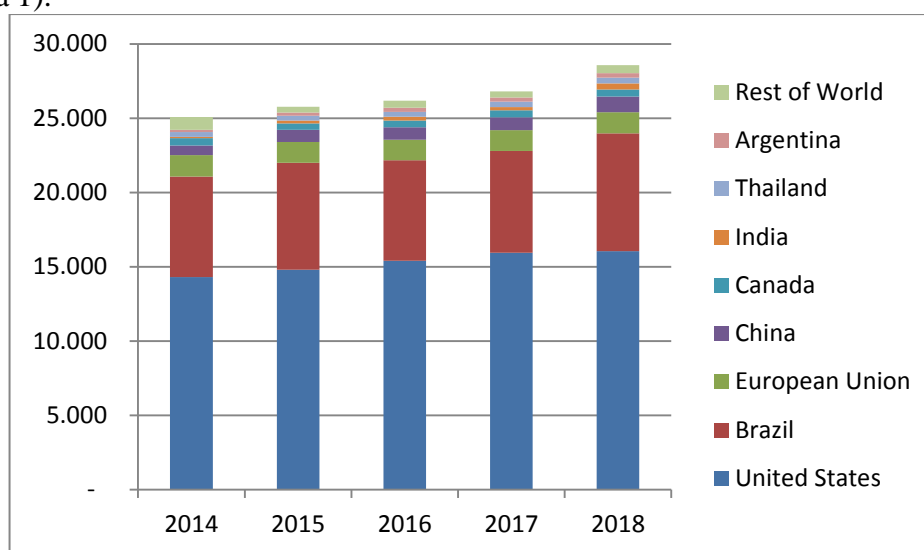


Figura 1 - Produção mundial de etanol, 2014-2018, em mil gallons.

Fonte: Renewable Fuels Association.

No mercado interno, considerando os dados da safra 2018/19, foram produzidas 620.435 mil toneladas de cana-de-açúcar em uma área de 8.589 mil hectares (CONAB, 2019a). A produção nacional é altamente concentrada na região Centro-Sul, com destaque para o Estado de São Paulo, responsável por 53,7% da produção agrícola. Os demais estados do Centro-Sul produziram 38,6%, enquanto a região Norte-Nordeste produziu apenas 7,7%. A mesma concentração também é observada nos principais produtos derivados da cana (Figura 2).

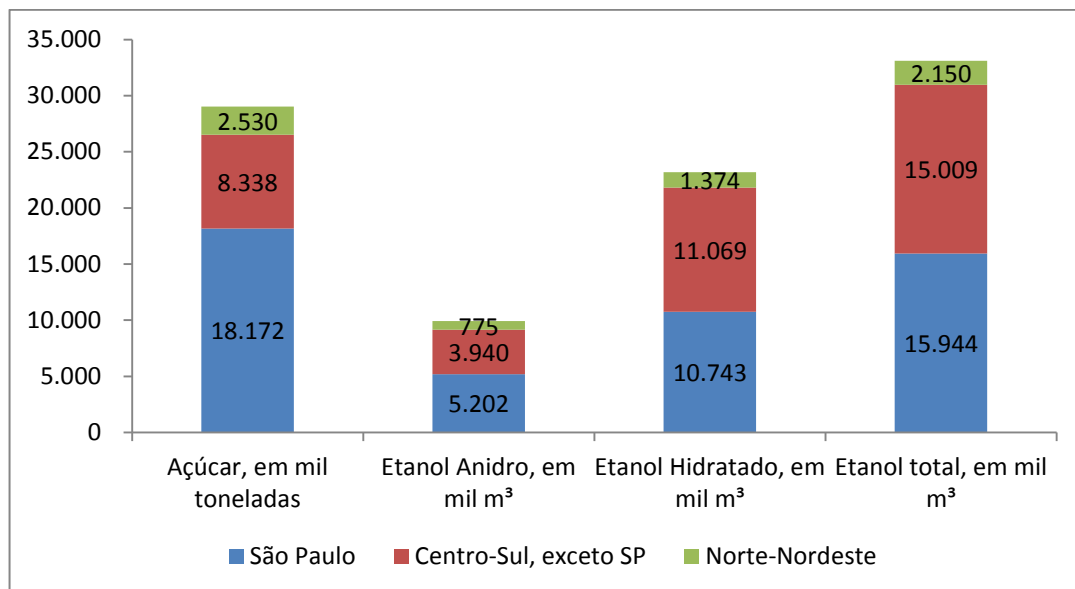


Figura 2 - Produção brasileira de açúcar e etanol, por região, safra 2018/19.

Fonte: UNICA.

Diferentemente dos Estados Unidos, que produzem etanol a partir do milho, uma das principais *commodities* alimentares, no Brasil a produção de etanol é derivada do cultivo da cana-de-açúcar. O bagaço produzido durante a moagem da cana é usado como combustível nas usinas de cogeração, suprimindo a demanda de energia no local, gerando, por vezes, excedente para exportação (APROBIO, 2019). Além da energia elétrica resultante da queima do bagaço da cana, também fazem parte dessa cadeia produtiva a produção de fertilizantes, vinhaça e torta de filtro, todos de grande interesse econômico, ambiental e social para o Brasil. Com efeito, a importância da cultura da cana-de-açúcar no país é grande, gerando emprego e renda para cerca de 70 mil produtores, abrangendo em torno de 30% dos municípios brasileiros (UNICA, 2019).

Especialmente sob o ponto de vista ambiental, o etanol de cana-de-açúcar é o biocombustível com a menor pegada de carbono do mundo, possibilitando 90% menos emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa) quando comparado com a gasolina. De fato, desde o lançamento dos veículos flex até dezembro de 2018 o uso do etanol evitou a emissão de 523 milhões de toneladas de CO₂eq na atmosfera, redução equivalente ao plantio de quase 4 bilhões de árvores ao longo de 20 anos (UNICA, 2019).

Neste contexto, um dos grandes desafios para a pesquisa atualmente é potencializar os benefícios ambientais, econômicos e sociais da cadeia produtiva do etanol, por meio de ganhos de eficiência, obtidos, sobretudo pelo desenvolvimento de tecnologias, processos e insumos que permitam o melhor aproveitamento de seus resíduos. Destaca-se aqui a busca pela viabilidade técnica e econômica da produção de etanol de segunda geração (E2G) ou etanol lignocelulósico.

Diversas iniciativas em P&D para aumentar a eficiência produtiva do E2G estão em curso no mundo. O presente estudo procurou avaliar o impacto *ex ante* de uma cultivar de cana-de-açúcar voltada para o melhor aproveitamento do bagaço na produção de E2G. Buscou-se estimar benefícios econômicos gerados em cenários de adoção da tecnologia, tendo como fonte de receita a comercialização de créditos de descarbonização - CBios, no âmbito do Programa Nacional de Biocombustível - RenovaBio. Avaliou-se também o retorno do investimento realizado em P&D no desenvolvimento da variedade frente aos benefícios econômicos esperados. O estudo apresenta, além desta introdução, uma descrição da metodologia e uma discussão sobre o contexto em que se propõe a tecnologia, com ênfase aos desafios do setor produtivo. Na sequência são apresentados os resultados de impacto *ex ante* em cenários de adoção da tecnologia, a avaliação dos retornos obtidos no investimento em pesquisa, seguido de conclusões.

2. Metodologia

2.1. Definição de cenários e estimativas de produção

A Cana Flex apresenta as mesmas características e desempenho das variedades disponíveis no mercado na fase agrícola, não havendo ganhos nem perdas nesta fase. Na fase industrial, espera-se o mesmo rendimento para a produção de etanol 1G e de açúcar. É no processamento da palha e do bagaço destinado à produção de E2G que está o diferencial deste ativo tecnológico, e, portanto, o impacto esperado.

Para avaliar esses impactos, foram elaborados cenários de adoção da Cana Flex e cenários de destinação do bagaço para a produção de etanol celulósico. O ponto de partida foi a estimativa do total de bagaço de cana gerado no Brasil na safra 2018/2019.

De acordo com dados da CONAB, o Brasil produziu 163,4 milhões de toneladas de bagaço de cana na safra 2011/12 passando a 178,3 milhões toneladas na safra de 2015/16 (último levantamento realizado). Observou-se que, em média, o bagaço produzido corresponde a 27,56% da massa de cana moída, em base úmida. Estimou-se, com base nessas informações, que na safra de 2018/19 tenham sido produzidos cerca de 170 milhões de toneladas de bagaço de cana (Tabela 1).

Tabela 1 - Produção de bagaço de cana-de-açúcar e Etanol, safras 2011/12 a 2018/19

Safr	Bagaço (1.000 t)	Cana-de-açúcar moída (1.000 t)	Bagaço/cana moída (%)	Etanol (1000 m³)	
				Anidro	Hidratado
2011/12	163.404	559.215	29,13%	8.581	14.101
2012/13	165.122	588.478	28,02%	9.844	13.382
2013/14	173.329	651.294	26,31%	12.187	15.289
2014/15	168.308*	633.927	26,55%*	12.079	16.401
2015/16	178.302	666.824	26,79%	11.661	18.572
2016/17	179.664*	651.841	27,56%*	11.589	15.665
2017/18	176.694*	641.066	27,56%*	11.366	16.492
2018/19	171.117*	620.832	27,56%*	9.917	23.186

Fonte: UNICA para cana moída e Etanol; Conab para bagaço.

*Estimativa da produção de bagaço com base na relação bagaço/cana moída média.

Embora o potencial para a produção de E2G seja grande, o custo de produção ainda é considerado relativamente elevado nas condições atuais de mercado, o que inviabiliza economicamente a produção em escala comercial. Procurou-se mostrar, no entanto, que o incremento na liberação de glicose na etapa de sacarificação, proporcionado pela Cana Flex, pode contribuir para melhorar os resultados econômicos do E2G no Brasil, especialmente com o estímulo vindo do RenovaBio.

Para isso, estimou-se a produção de etanol anidro de segunda geração, com base em coeficientes técnicos de produção-padrão para uma variedade de cana não modificada, em cenários que estabelecem percentuais de 10%, 30%, 50%, 70% e 100% de destinação da biomassa para a produção de E2G. Para a variedade transformada (Cana Flex) foi então adotado um incremento de 24% na concentração final de glicose a partir do tratamento do bagaço, com base nos resultados da pesquisa, descritos detalhadamente em Souza et al. (2019). Esse incremento pode estar associado ao aumento de eficiência na disponibilização de celulose nas etapas anteriores à hidrólise enzimática (por exemplo, redução da cristalinidade do material e maior facilidade de remoção de hemicelulose e lignina no pré-tratamento) e ao aumento de conversão de celulose à glicose na hidrólise enzimática. Os parâmetros referentes à etapa de fermentação alcoólica, definidos para a cana não modificada, foram mantidos para a Cana Flex.

Os benefícios econômicos com a tecnologia foram demonstrados em volume de produção, em reais, considerando o preço médio pago aos produtores de São Paulo pelo etanol anidro em 2018, e também em geração de CBios.

2.2. Impacto Econômico e Ambiental no Âmbito do Programa RenovaBio

A Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), instituída pela Lei Nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, é uma política de Estado que tem por objetivos contribuir para o atendimento aos compromissos do Brasil no âmbito do Acordo de Paris; contribuir com a adequada relação de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, na comercialização e no uso de biocombustíveis, inclusive com mecanismos de avaliação de ciclo de vida; promover a adequada expansão da produção e do uso de biocombustíveis na matriz energética nacional, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis; e contribuir com previsibilidade para a participação competitiva dos diversos biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis (BRASIL, 2017).

A política prevê a remuneração de produtores de biocombustível pelo desempenho ambiental, utilizando para isso a emissão dos chamados CBIOS – Créditos de Descarbonização.

O funcionamento do Programa tem como mecanismo principal a compra e venda destes créditos que serão negociados em bolsa de valores e funcionarão como um novo produto para as companhias. De um lado, os produtores de biocombustíveis (etanol, biodiesel e bioquerosene) irão credenciar seus processos produtivos junto às certificadoras (instituições credenciadas para este fim) e receberão os CBios. Do outro lado estão as distribuidoras de combustíveis, que possuem metas individuais de redução das emissões, de acordo com a fatia de mercado de combustíveis fósseis que possui. As distribuidoras terão que adquirir CBios para atingir as metas individuais de redução de emissões (BRASIL, 2019). As metas preliminares de redução de emissões para 2020 aplicáveis a todos os distribuidores de combustíveis do país foram definidas em 28,7 milhões de CBios, enquanto a meta anual individual definitiva será publicada até 31 de março do ano de sua vigência (ANP, 2019).

Para comprovar o desempenho ambiental da produção de etanol, em particular, as usinas de biocombustíveis deverão detalhar os aspectos agrícolas e industriais de seus processos produtivos que resultam na emissão de carbono. Essa análise tem como base a Avaliação do Ciclo de Vida.

A emissão total é comparada com a do combustível fóssil equivalente (a gasolina, no caso do etanol, ou o diesel, para o biodiesel) resultando em uma nota final, que caracteriza a mitigação das emissões. Todo o cálculo para se chegar a esta nota de eficiência será realizado com o uso da ferramenta RenovaCalc. A nota final atribuída ao processo produtivo representa a diferença entre a intensidade de carbono existente no combustível fóssil substituto (por exemplo, gasolina) e a intensidade de carbono estabelecida no processo que estiver sendo certificado pelo RenovaBio (por exemplo, etanol 2G).

Portanto, o fator para emissão dos CBios é a nota de Eficiência Energético-Ambiental atribuída ao produtor, a partir das informações do seu processo produtivo. Cada tonelada de gás carbônico comprovadamente retirada da atmosfera por um produtor de biocombustível gera a emissão de um título de CBio.

A emissão dos CBios teve início em dezembro de 2019 e a vigência do programa RENOVBIO teve início em janeiro de 2020 (BRASIL, 2019).

Neste estudo, buscou-se simular emissões de CBios para o cenário de produção de etanol E2G, com a utilização de 10% do bagaço produzido na safra 2018/2019.

Para isto foram informados na calculadora do Programa, a RenovaCalc, os seguintes dados: bagaço de cana de terceiros processada, em toneladas, considerando 50% de umidade; distância de transporte; e, rendimento de etanol anidro, medido em litros por tonelada de bagaço. Adotou-se a distância média geral de 25 km percorrida pela cana-de-açúcar da colheita até a indústria, conforme Boletim da Conab (CONAB, 2019). Considerou-se 100% do transporte de etanol anidro sendo rodoviário. Não se considerou a produção de etanol hidratado. Da mesma forma, não foram considerados no cálculo da nota de eficiência os insumos relativos à fase industrial (enzimas, ácido sulfúrico, amônia e hidróxido de sódio) devido à dificuldade de obtenção destes dados junto às empresas. Interessa nesta análise observar a diferença de eficiência entre os dois processos produtivos analisados, no que diz respeito ao rendimento de etanol por biomassa (Cana Flex *versus* cana não modificada).

2.3. Rentabilidade do investimento em P&D

A análise de rentabilidade do investimento em P&D levou em consideração despesas de P&D e benefícios econômicos esperados com a adoção da tecnologia no mercado brasileiro.

Para o levantamento do custo de geração da tecnologia foram consideradas as despesas diretas do projeto financiado com recursos do Sistema Embrapa de Gestão (SEG), ao longo de cinco anos, bem como as despesas indiretas, relacionadas à administração e manutenção do centro de pesquisa da Embrapa Agroenergia, que envolvem gastos com pessoal, depreciação de infra-estrutura e treinamento. A estimativa de despesas de pessoal considerou o tempo dedicado de cada membro da equipe ao longo da execução do projeto e o valor da hora, de acordo com o cargo. Da mesma forma, o custo de depreciação da estrutura física usada no projeto, especialmente de laboratórios, foi calculado com base no tempo de uso da equipe nas instalações e no valor da depreciação por hora de uso. Os valores de referência utilizados são indicados na Tabela 2.

O fluxo de benefícios utilizado na análise corresponde a uma parcela dos ganhos adicionais com a comercialização de CBios, que serão demonstrados adiante, nos resultados do estudo.

Tabela 2 - Valores de referência para gastos com pessoal e depreciação de infra-estrutura

Pessoal	R\$ / hora	Infra-estrutura	R\$/hora
Pesquisador A	263,48	Laboratório - LGB	42,02
Pesquisador B	220	Laboratório - LPB	25,36
Analista A	191,09	Laboratório - LQB	79,72
Analista B	143,65	Laboratório - LPQ	31,79
Técnico A	103,44	Planta Piloto - PP	84,37
Técnico B	68,93	Uso de salas (valor médio)	3,94
Assistente A	68,6		
Assistente B	45,23		
Assistente C	28,45		

Considerou-se um período de 20 anos, no qual o investimento no desenvolvimento da tecnologia é realizado nos 5 primeiros anos, sem gerar nenhuma receita, apenas fluxo negativo. Nos dois anos seguintes considerou-se que não há despesas com pesquisa e nem geração de renda, pois seria o período para a transferência da tecnologia e o crescimento vegetativo da cana até o primeiro corte que é imprescindível para multiplicação de toletes e consequente ampliação da área cultivada com a variedade. Por ser uma avaliação *ex ante*, não se dispõe no momento de informações sobre gastos com transferência de tecnologia. Optou-se por deixar esses dois anos no fluxo de caixa zerados. A partir do oitavo ano, iniciam-se os ganhos com a produção de E2G e não há mais investimentos em P&D. No caso deste estudo, o fluxo de receita refere-se aos ganhos com a comercialização de CBios. São geradas receitas crescentes até o 17º ano quando a produção se estabiliza em 10% do processamento de bagaço de cana, permanecendo a mesma receita até o 20º ano.

Os indicadores de rentabilidade utilizados na análise foram: taxa interna de retorno (TIR), relação benefício custo (BC) e valor presente líquido (VPL).

3. Desafios do E2G no Brasil e a tecnologia Cana Flex

A capacidade instalada para a produção de etanol celulósico ou de segunda geração no Brasil é composta por duas plantas em escala comercial (GranBio e Raízen) e uma experimental do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), com capacidades de produção nominal de 82; 42; e 3 milhões de litros de E2G por ano, respectivamente (EPE, 2018). A planta construída pela Raízen, com o apoio do BNDES, foi inaugurada em 2014, tornando o Brasil o único país do mundo com uma planta E2G produzindo estavelmente em escala comercial. Já foram produzidos mais de 35 milhões de litros de etanol celulósico, com potencial de aumentar em até 50% a produção usando a mesma área plantada (RAÍZEN, 2019).

No entanto, a produção comercial de E2G ainda é muito baixa frente ao potencial do país. As usinas atualmente em operação, Raízen, GranBio, Poet-DSM, Dupont, Beta Renewables, Quad County e Edeniq, operam em média com 7% de suas capacidades. Um dos maiores desafios enfrentados por essas usinas está relacionado a problemas de engenharia na alimentação do reator de pré-tratamento, apontado como o elemento crítico para a expansão da produção de E2G em grandes volumes (NOVA CANA, 2017a). De acordo com o estudo realizado pela empresa Lux Research, melhorias nessa etapa promoveriam uma redução de



custo de produção em até 16%, em média, além de consequentes evoluções nas etapas subsequentes de produção.

Há ainda desafios relacionados à economicidade no uso de insumos em algumas etapas do processo produtivo. As enzimas, responsáveis pela “desconstrução” da biomassa em açúcares, representam cerca de 20 a 25% do custo total de produção (NOVACANA, 2015). Mas, o destaque maior está na matéria-prima (biomassa) que corresponde a até 40% do total das despesas (NOVACANA, 2017b).

Neste contexto, o ativo tecnológico denominado Cana Flex se apresenta como uma solução tecnológica com grande potencial de contribuir para a viabilidade econômica do E2G em escala comercial no Brasil.

Trata-se de uma variedade de cana-de-açúcar com maior digestibilidade da parede celular que foi desenvolvida pela Embrapa Agroenergia por meio de uma rede de pesquisa com os seguintes parceiros: Rothamsted Research, Universidade de Cambridge, Universidade de York, Instituto de Botânica de São Paulo (IBot), Universidade Estadual de Maringá (UEM), Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA/UFPR) e Universidade Federal do ABC (UFABC).

A Cana Flex é uma variedade geneticamente transformada contendo construções gênicas que visam suprimir a expressão de genes que codificam para acil transferases, combinadas com promotores tecido-específico e constitutivo. Mais especificamente, o ativo apresenta uma diminuição dos níveis de transcrição do gene BAHD1 ou a atividade da enzima codificada por este gene e, por consequência, produz menor quantidade de ferulatos ligados à parede celular, reduzindo o *cross-linking* entre os polímeros da mesma.

Uma das vantagens deste ativo é que a diminuição das interligações de ácido ferúlico na parede celular permite um melhor acesso das enzimas hidrolíticas à lignocelulose para produção de E2G, gerando economicidade ao reduzir custos na etapa de pré-tratamento da biomassa. Resultados da pesquisa demonstraram que, em condições ótimas de pré-tratamento (organosolv com etanol 30%, a 180 °C, por 240 minutos) a variedade geneticamente transformada liberou 24% mais glicose durante processo de sacarificação do bagaço, quando comparada com uma variedade não transformada, conforme descrito em Souza et al. (2019).

O aumento da digestibilidade da biomassa diz respeito não apenas à produção de E2G, mas também é um dos principais critérios para valorar a biomassa como fonte de ração animal, dada sua menor recalcitrância da parede celular, consequentemente, maior valor nutricional da biomassa. Além disso, melhorias na digestibilidade de biomassas podem elevar a produção de biocombustíveis e de outros produtos, a exemplo da produção de blocos construtores de açúcares C5/C6 para atender outros segmentos industriais, como o químico.

A tecnologia de modificação da parede celular pode ser incorporada em qualquer variedade de cana, de acordo com o ambiente de produção. Atualmente, a variedade que está sendo testada é adaptada para a região Centro-Sul, onde concentra os maiores produtores nacionais de cana e de etanol.

Espera-se que a tecnologia gere benefícios ao setor agroindustrial, ao agricultor e ao país. Na etapa agroindustrial são esperados benefícios em duas vias independentes. A primeira, pelo aumento da produção de E2G, a partir do maior rendimento e eficiência de sacarificação para uma mesma quantidade de biomassa e enzima. A segunda, pela possibilidade de redução de custos, a partir da redução da quantidade de enzimas utilizada, mantendo-se a mesma conversão. Lembrando que o aumento da disponibilidade de açúcares fermentescíveis pode atender a produção de E2G ou de compostos químicos produzidos a partir de glicose e segmento de ração animal. Na fase agrícola, em particular, a maior valorização do bagaço de cana poderá beneficiar também os produtores rurais. Por fim, os

benefícios esperados para o país referem-se ao alcance das metas de redução de emissões de GEE, sobretudo, pelo aumento da produção e consumo de um biocombustível com baixíssima emissão relativa.

4. Resultados e Discussão

4.1. Cenários de produção de etanol anidro de segunda geração: Cana Flex versus cana não modificada

Considerando os coeficientes técnicos de produção definidos na Tabela 3, apresentam-se cenários de produção de E2G (etanol anidro), a partir do processamento de percentuais do bagaço de cana gerado na safra 2018/19.

Partindo do cenário mais conservador, em que apenas 10% do bagaço gerado na safra 2018/19 é destinado à produção de etanol anidro de segunda geração, é possível produzir 1,6 milhões de m³ com a cana não modificada e 2 milhões de m³ com a Cana Flex. Os volumes de produção podem chegar a 16,4 e 20,3 milhões de m³, com as duas variedades de cana, respectivamente, se todo o bagaço estimado for destinado à produção de E2G.

O diferencial em eficiência produtiva e em valor da produção proporcionado pela adoção da Cana Flex nos cenários estabelecidos é mostrado na Tabela 4.

Tendo como referência o cenário no qual 30% do bagaço de cana é destinado à produção de E2G, com base nos coeficientes técnicos apresentados na Tabela 3, seria possível produzir 4,91 bilhões de litros de etanol a partir de cana não modificada. Essa produção aumentaria para 6,09 bilhões de litros se o bagaço utilizado fosse de Cana Flex. O ganho estimado com a adoção da tecnologia neste cenário é de 1,18 bilhões de litros, podendo chegar ao máximo de 3,9 bilhões de litros se todo o bagaço gerado fosse de Cana Flex e 100% destinado à produção de E2G. Em termos monetários, o ganho seria da ordem de R\$ 2,14 bilhões para o cenário de 30% de bagaço destinado à produção de E2G, chegando a R\$ 7,14 bilhões no cenário de adoção máxima, ou seja, 100% do bagaço destinado à produção de E2G.

Considerando que a produção de etanol total (anidro e hidratado) em 2018 foi de 33,10 bilhões de litros, a produção de E2G projetada nesse cenário (6,09 bilhões de litros) equivale a 18,4% da produção nacional. E o ganho com a tecnologia Cana Flex (1,18 bilhões de litros) equivale a 3,6% da produção total de 2018. É um adicional significativo, especialmente para um produto cujo processo produtivo está em fase de aprimoramento, não apenas no Brasil, mas em vários países, buscando maior eficiência produtiva e/ou redução de custos para viabilizar-se economicamente.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos na calculadora RenovaCalc, bem como o detalhamento de cálculos para se chegar à uma estimativa de receita obtida com os CBios. Observa-se que a intensidade de carbono gerada na produção do etanol anidro de segunda geração é de 2,2 g CO₂eq/MJ, o que gerou uma nota de eficiência de 85,2 g CO₂eq/MJ, dada pela diferença entre a intensidade de carbono do etanol anidro e da gasolina. A intensidade de carbono da gasolina é de 87,4 g CO₂eq/MJ. Essa informação é fornecida pela planilha de apoio da RenovaCalc. Neste estudo, considerou-se que 100% da produção seriam elegíveis para o Programa RenovaBio, ou seja, não houve irregularidades nas informações submetidas na fase de certificação. Optou-se, para fins dessa simulação, pelo cenário mais conservador de produção de E2G, em que apenas 10% do bagaço produzido na safra 2018/19 é processado para produção de E2G (1,6 milhões m³ e 2 milhões m³, para cada variedade de cana, respectivamente).

Tabela 3 – Coeficientes técnicos de produção para cenários de produção de Etanol 2G - cana não modificada e Cana Flex

Cenários de destinação de bagaço para E2G	Bagaço destinado a E2G, 1000 t (base úmida)	Bagaço destinado a E2G 1000 t (base seca) ^a	Massa de celulose possível 1000 t ^b	Massa de celulose disponível para cana não modificada 1000 t ^c	Massa de glicose formada na hidrólise enzimática para cana não modificada 1000 t ^d	Volume de etanol anidro produzido para cana não modificada 1000 m ³ ^e	Massa de glicose formada na hidrólise enzimática para Cana Flex 1000 t ^f	Volume de etanol anidro produzido para Cana Flex 1000 m ³ ^g
10%	17.110,13	8.555,06	3.268,03	2.941,23	2.750,05	1.638,60	3.410,06	2.031,86
30%	51.330	25.665,19	9.804,10	8.823,69	8.250,15	4.915,80	10.230,19	6.095,59
50%	85.551	42.775,32	16.340,17	14.706,16	13.750,26	8.192,99	17.050,32	10.159,31
70%	119.771	59.885,45	22.876,24	20.588,62	19.250,36	11.470,19	23.870,45	14.223,03
100%	171.101	85.550,65	32.680,35	29.412,31	27.500,51	16.385,98	34.100,64	20.318,62

Fonte: Estimado pelos autores com base em dados da pesquisa.

a - Considerando 50% de umidade, teor padrão de umidade do bagaço enviado a caldeira; b - Considerando percentual médio de celulose determinado por metodologia do NREL para diferentes bagaços = 38,2% (base seca); c - Considerando 90% de eficiência de disponibilização de celulose; d – Considerando coeficiente estequiométrico de conversão de celulose a glicose, em massa, de 1,1 e 85% de conversão na etapa de hidrólise enzimática; e – Considerando coeficiente estequiométrico de conversão de glicose a etanol, em massa, de 0,511; 92% de rendimento na etapa de fermentação, coeficiente usual de fermentação alcoólica industrial e densidade do etanol de 0,789 kg/L; f - para Cana Flex, mantidos os mesmos parâmetros de umidade e composição, com incremento de 24% na liberação de glicose durante processo de sacarificação; g- Considerando mesmos parâmetros de fermentação alcoólica definidos para cana não modificada.

Tabela 4 - Estimativa de ganhos com a tecnologia, em cenários de adoção

Cenários de destinação de bagaço para E2G	Etanol anidro 2G (1000 m ³)		Ganho com a Tecnologia		
	Cana não modificada	Cana Flex	1000 m ³	Preço R\$/L	R\$ milhões
	A	B	C=A-B	D	E=C*D
10%	1.638,60	2.031,86	393,26	1,8171 ¹	714,60
30%	4.915,8	6.095,6	1.179,8		2.143,8
50%	8.193,0	10.159,3	1.966,3		3.573,0
70%	11.470,2	14.223,0	2.752,8		5.002,2
100%	16.386,0	20.318,6	3.932,6		7.146,0

O poder calorífico inferior (PCI) do etanol hidratado é de 28,26 MJ/ Kg, multiplicado pela nota de eficiência resulta em um total de redução de emissões de carbono de 2.407,75 g CO₂eq/Kg etanol ou 1.904,53 g CO₂eq/L de etanol. Isso significa que ao substituir a gasolina pelo total de E2G produzido com a cana não modificada, deixa-se de emitir um total de 3.120.762,76 t CO₂eq. Para a produção com a Cana Flex, a redução da emissão é maior, da ordem de 3.869.745,82 t CO₂eq. Aqui fica evidente a vantagem da tecnologia, pois gera maior redução de emissões de CO₂ para a mesma quantidade de biomassa processada.

Tabela 5 - Parâmetros do E2G no âmbito do Programa RenovaBio

Parâmetro	Cana não modificada	Cana Flex
Intensidade de carbono etanol anidro (g CO ₂ eq/MJ)	2,2	2,2
Intensidade de carbono gasolina (g CO ₂ eq/MJ)	87,4	87,4
Nota de eficiência Energético-Ambiental(g CO ₂ eq/MJ)	85,2	85,2
Produção de etanol anidro (m ³)	1.638.598,37	2.031.861,98
Volume elegível (%)	100%	100%
Volume elegível de etanol (m ³)	1.638.598,37	2.031.861,98
Poder calorífico inferior (MJ/ Kg de etanol)	28,26	28,26
Intensidade de carbono evitado (g CO ₂ eq/Kg etanol)	2.407,75	2.407,75
Massa específica (Kg/L)	0,791	0,791
Emissão de carbono evitada (g CO ₂ eq/L etanol)	1.904,53	1.904,53
Emissão de carbono evitada (g CO ₂ eq)	3.120.762.759.442,20	3.869.745.821.708,33
CBIO (t CO ₂ eq)	3.120.762,76	3.869.745,82
Valor do CBIO (\$/t CO ₂ eq)	10	10
Receita (\$)	31.207.627,59	38.697.458,22
Receita (R\$)	156.038.137,97	193.487.291,09
Receita (R\$/L)	0,095	0,095

¹ Preço do etanol anidro recebido pelo produtor, em São Paulo, em 2018 (CEPEA/ESALQ, 2019).

Em termos de impacto econômico e, assumindo que o CBIO seja comercializado por US\$10 por tonelada de CO₂eq (CEISE, 2019), o ganho por litro de E2G anidro é de R\$ 0,095. Observa-se que a receita obtida na venda de CBios a partir da Cana Flex, de R\$ 193,4 milhões, supera a receita gerada com a cana não modificada (R\$ 156 milhões) em R\$ 37,4 milhões, considerando a taxa de câmbio R\$/US\$ igual a 5.

Portanto, não havendo diferença na etapa agrícola e sendo desconsideradas quaisquer diferenças no uso de insumos na etapa industrial, a eficiência energética do etanol anidro 2G a partir das duas variedades de cana é a mesma. O que difere é a maior produção em litros de etanol por unidade de biomassa processada, proporcionado pela Cana Flex. Sendo assim, verificou-se que é possível obter maior quantidade de créditos de descarbonização por unidade de biomassa processada e, consequentemente, maior receita advinda da comercialização de CBios a partir da variedade de cana modificada.

4.3. Análise de retorno do investimento em pesquisa e desenvolvimento

A análise de rentabilidade avaliou o retorno econômico do investimento em P&D (gastos diretos e indiretos com a pesquisa) relativamente aos ganhos esperados com a sua adoção no mercado brasileiro. Para isso, considerou-se um período de 20 anos, no qual o investimento no desenvolvimento da tecnologia é realizado nos 5 primeiros anos. Nos dois anos seguintes considerou-se o período para a transferência da tecnologia e o crescimento vegetativo da cana até o primeiro corte. A partir do oitavo ano, começam os ganhos com a produção de E2G (fluxos de receita) e cessam os investimentos em P&D. Os valores relativos ao fluxo de investimento em P&D e fluxos de receita que irão compor o fluxo de caixa estão detalhados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Tabela 6 – Estimativa dos custos da pesquisa

Ano	Custos de Pessoal	Custeio de Pesquisa	Depreciação de Capital	Custos de Administração	Total
2012	176.279,10	113.500,00	34.356,88	17.025,00	341.160,98
2013	528.837,30	358.500,00	103.070,63	53.775,00	1.044.182,93
2014	528.837,30	168.600,00	103.070,63	25.290,00	825.797,93
2015	528.837,30		103.070,63		631.907,93
2016	528.837,30		103.070,63		631.907,93
2017	88.139,55		17.178,44		105.317,99
Total	2.379.767,85	640.600,00	463.817,84	96.090,00	3.580.275,64

A estimativa de custos da pesquisa incluem despesas diretas e indiretas. As despesas indiretas referem-se a gastos com pessoal e depreciação de capital, as quais ficam a cargo da Embrapa Agroenergia. As despesas diretas do projeto incluem custeio de pesquisa e custos de administração, financiados.

Tabela 7 - Receita de CBios em cenário de expansão gradativa da produção de E2G

Ano	Bagaço%	Produção de etanol anidro (m ³)		Emissão de carbono evitada (t CO ₂ eq)			CBIO (t CO ₂ eq) em R\$	Benefício econômico (R\$)	Participação da Embrapa (%)	Participação da Embrapa (R\$)
		Cana não Modificada	Cana Flex	Cana não Modificada	Cana Flex	Ganhos com a tecnologia				
				(A)	(B)	C=(B-A)	D	E=(C*D)	(F)	G=(E*F)
1	1%	163.859,84	203.186,20	312.076,28	386.974,58	74.898,31	50,00	3.744.915,31	70	2.621.440,72
2	2%	327.719,67	406.372,40	624.152,55	773.949,16	149.796,61	50,00	7.489.830,62	70	5.242.881,43
3	3%	491.579,51	609.558,59	936.228,83	1.160.923,75	224.694,92	50,00	11.234.745,93	70	7.864.322,15
4	4%	655.439,35	812.744,79	1.248.305,10	1.547.898,33	299.593,22	50,00	14.979.661,25	70	10.485.762,87
5	5%	819.299,19	1.015.930,99	1.560.381,38	1.934.872,91	374.491,53	50,00	18.724.576,56	70	13.107.203,59
6	6%	983.159,02	1.219.117,19	1.872.457,66	2.321.847,49	449.389,84	50,00	22.469.491,87	70	15.728.644,31
7	7%	1.147.018,86	1.422.303,39	2.184.533,93	2.708.822,08	524.288,14	50,00	26.214.407,18	70	18.350.085,02
8	8%	1.310.878,70	1.625.489,59	2.496.610,21	3.095.796,66	599.186,45	50,00	29.959.322,49	70	20.971.525,74
9	9%	1.474.738,53	1.828.675,78	2.808.686,48	3.482.771,24	674.084,76	50,00	33.704.237,80	70	23.592.966,46
10	10%	1.638.598,37	2.031.861,98	3.120.762,76	3.869.745,82	748.983,06	50,00	37.449.153,11	70	26.214.407,18

As despesas de Custeio de Pesquisa e Custos de Administração foram previstas em projeto de pesquisa, com orçamento na ordem de R\$ 886.690,00. Deste total, R\$ 96.090,00 foram destinados à taxas de administração e R\$ 640.600,00 gastos com despesas da pesquisa. As despesas indiretas, compostas pelo custo de pessoal e depreciação de capital, foram estimadas em R\$ 2.379.767,84 e R\$ 463.817,84, respectivamente. Observa-se que o custo total do desenvolvimento da tecnologia no período de 2012 a 2017 foi de R\$ 3,58 milhões, sendo 66,47% destinado a custeio de pessoal, 17,89% custeio de pesquisa, 12,95% depreciação de capital e 2,68% custos de administração.

Do lado da receita, considerou-se um cenário conservador de adoção da tecnologia, supondo um aumento gradativo do percentual de processamento do bagaço de 1% a.a até atingir 10% de processamento de bagaço para produção de E2G no décimo ano (Tabela 7). Com isso, são produzidos no primeiro ano, com 1% do total de bagaço de cana, 203 mil m³ de etanol anidro de segunda geração com a Cana Flex, o que equivale a 387 mil CBios. O diferencial de CBios obtidos com a Cana Flex em comparação com a cana não modificada é de 74,9 mil CBios, o equivalente a R\$ 3,7 milhões, ao preço de \$10 ou R\$ 50,00 cada CBio.

Com um aumento gradativo da produção de E2G, empregando ao final de 10 anos o equivalente a 10% do bagaço de cana da safra 2018/19, o benefício econômico da Cana Flex, baseado na comercialização de CBios, chegaria a R\$ 37,4 milhões, conforme definido anteriormente. Foram geradas receitas crescentes com a comercialização de CBios até o 17º ano quando a produção se estabiliza em 10% do processamento de bagaço de cana, permanecendo a mesma receita até o 20º ano.

Para fins da análise de retorno do investimento em pesquisa, considerou-se a participação da Embrapa nos benefícios econômicos de 70%, tendo em vista a colaboração de parceiros externos no projeto. Os resultados do fluxo de caixa são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Indicadores de rentabilidade do investimento em pesquisa

Taxa Interna de Retorno TIR	Relação Benefício/Custo B/C (6%)	Valor Presente Líquido VPL (6%)
47%	18,25	R\$ 87.938.829,62

Observa-se que o investimento retorna uma TIR de 47%, o que indica viabilidade econômica, pois essa taxa é superior às taxas de juros de mercado que poderiam ser adotadas como referência. A taxa SELIC, por exemplo, que é a taxa básica de juros do mercado brasileiro, fechou em 4,5% a.a. na reunião do Copom de 11/12/2019. A taxa máxima atingida pela SELIC em nos últimos três anos foi de 12,9% a.a em janeiro de 2017 (BACEN, 2020). Atualmente, devido à pandemia do Coronavírus as taxas de juros no mundo estão com viés de baixa, chegando até mesmo a juros negativos em alguns países. Optou-se por utilizar como taxa mínima de atratividade para esta análise a taxa de 6% a.a.

A relação de benefício custo obtida foi de R\$18,25, o que significa que para cada R\$ 1,00 investido na pesquisa, a tecnologia retornou R\$ 18,25 de receita adicional obtida com CBIO. Ao final de 20 anos, a tecnologia gera um VPL de R\$ 87,9 milhões, ou seja, paga todo o investimento, com remuneração dos valores à taxa de 6% a.a e retorna esse montante no final do período.

Os resultados indicam que os investimentos em pesquisa têm grande potencial de retorno para o setor produtivo e para a sociedade de modo geral. Optou-se por um cenário conservador, onde o processamento de bagaço atinge o máximo de 10% do total de bagaço gerado no país. Outra suposição conservadora é a do fluxo de receitas, que são oriundas apenas do ganho adicional em CBios, embora tenha sido demonstrado adicional de aumento

de produção e receita propriamente dita. Considerou-se ainda que a participação da Embrapa no ganho econômico gerado pela tecnologia foi de 70%, levando em consideração a participação de outros parceiros no desenvolvimento da mesma. Ainda assim, os indicadores de viabilidade econômica apontam elevado retorno do investimento em pesquisa e desenvolvimento.

5. Conclusão

O ativo de inovação Cana Flex é uma variedade de cana-de-açúcar geneticamente modificada, desenvolvida pela Embrapa Agroenergia, que apresenta maior digestibilidade da parede celular, com potencial para elevar a produção de biocombustível, entre outros produtos. Neste estudo foram avaliados os impactos esperados na produção de etanol anidro de segunda geração e consequentes ganhos ou benefícios econômicos e ambientais oriundos de um incremento de 24% na concentração final de glicose a partir do tratamento do bagaço.

Observaram-se impactos econômicos relevantes na produção de E2G por volume de biomassa processada, quando comparado com uma variedade de cana não modificada. Conforme analisado em um dos cenários, se 10% do bagaço de cana produzido na safra 2018/19 fosse destinado à produção de etanol de segunda geração, o diferencial da Cana Flex sob uma variedade não modificada implicaria em aumento de 393.263,6 m³ da produção de etanol, adicional equivalente a R\$ 714,6 milhões. Em termos de redução de emissão, esse diferencial implicaria na redução de 748.983,06 tCO₂eq. No âmbito do Programa RenovaBio, essa redução adicional de CO₂ geraria o equivalente a R\$ 37,4 milhões na comercialização de CBios.

A análise do retorno dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento compreendeu um período de 20 anos, sendo cinco anos para o desenvolvimento da tecnologia, 2 anos para a sua transferência ao mercado e 13 anos de adoção progressiva pelo setor produtivo. A taxa interna de retorno do investimento na pesquisa, considerando no fluxo de renda apenas uma parcela dos ganhos com a geração de CBios, foi de 47%, com VPL de R\$ 87.938.829,62. Esses resultados indicam a viabilidade econômica do investimento em pesquisa.

Os resultados das avaliações *ex ante* realizadas neste estudo permitem inferir que a tecnologia Cana Flex tem grande potencial para contribuir com as metas do Brasil na redução de emissões de GEE, via matriz de combustível, além de gerar ganhos econômicos importantes para o setor produtivo. Espera-se que os resultados obtidos até este momento em escala piloto sejam confirmados em escala industrial, o que constitui os próximos passos do desenvolvimento da tecnologia. A expectativa é que a Cana Flex contribua de forma decisiva para a viabilidade econômica do etanol de segunda geração nos próximos anos, além de possibilitar ganhos econômicos no âmbito do Programa RenovaBio.

Referências

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Metas preliminares para 2020 de redução de emissão de gases causadores do efeito estufa. Disponível em <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/RenovaBio/metas-preliminares-para-2020-de-reducao-de-emissao-de-gases-causadores-do-efeito-estufa>. Acesso em: 06 de jan. 2020.

APROBIO. Associação dos Produtores de Biocombustíveis do Brasil. Quão competitiva é a produção de biocombustíveis no Brasil e nos Estados Unidos. Disponível em:

<https://aprobio.com.br/2019/03/11/quao-competitiva-e-a-producao-de-biocombustiveis-no-brasil-e-nos-estados-unidos/>. Acesso em 04 de set. 2019.

BACEN. Banco Central do Brasil. Taxas de juros básicas – Histórico. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>. Acesso em 08 jan. 2020.

BRASIL. Lei Nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm. Acesso em 24 de set. 2019.

BRASIL. Decreto Nº 9.888, DE 27 de Junho de 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/Decreto/D9888.htm. Acesso em 24 de set. 2019.

CEISE. Centro Nacional das Indústrias do Setor Sucroenergético e Biocombustíveis. Certificadas no RenovaBio poderão vender 29 milhões de CBios em 2020. Disponível em: <http://www.ceisebr.com/conteudo/certificadas-no-RenovaBio-poderao-vender-29-milhoes-de-CBios-em-2020.html>. Acesso em 02 de dez. 2019.

CEPEA/ESALQ. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros. Banco de Dados. Disponível em <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/consultas-ao-banco-de-dados-do-site.aspx>. Acesso em 29 de out. 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Série Histórica das Safras. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 04 de Set. 2019a.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Perfil do Setor do Açúcar e do Etanol no Brasil: edição para a safra 2015/16. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 12 de nov. 2019b.

DAMASCENO, G.; ZANETI, L.; CELLA, D. Viabilidade da Produção do Etanol Celulósico. Revista Interface Tecnológica, v. 14, n. 2, p. 52-63, 17 dez. 2017. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/175>. Acesso em: 18 de nov. 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Cenários de Oferta de Etanol e demanda do Ciclo Otto 2028-2030. Ministério de Minas e Energia: Rio de Janeiro, 2018.

NOVACANA. Etanol celulósico: CTBE e Novozymes atacam o custo das enzimas. 03 mar 2015. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/etanol-celulosico-ctbe-novozymes-atacam-custo-enzimas-030315>. Acesso em: 10 de fev. 2020.

NOVACANA. Etanol celulósico na encruzilhada: gargalos continuam e usinas atingem, em média, apenas 7% da capacidade. 31 mai 2017a. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/etanol-celulosico-encruzilhada-gargalos-usinas-7-capacidade-310517>. Acesso em 10 de fev. 2019.

NOVACANA. Dilema do Etanol 2G: desafios da matéria-prima celulósica. 26 jan 2017b. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/dilema-etanol-2g-desafios-materia-prima-celulosica-260117>. Acesso em: 10 de fev. 2020.

RAIZEN. E2G Raízen. Disponível em: <http://ethanolsummit.com.br/2019/programa/ppt/trk1-dia1-pn6-03-pedro-mizutani-converted.pdf>. Acesso em 10 de fev. 2020.

RFA. Renewable Fuels Association. Annual Fuel Ethanol Production: U.S. and World Ethanol Production. Disponível em: <https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/>. Acesso em: 25 de nov. 2019.

RFA. Renewable Fuels Association. Global Ethanol Production. Disponível em: <https://afdc.energy.gov/data/10331>. Acesso em 25 de nov. 2019.

SOUZA, D. T. , CARDOSO, A. N., ONOYAMA, M. M., SANTOS, G. S., BRASIL, B. S. A. F., CAPDEVILLE, G. Avaliação de impacto socioeconômico e ambiental de inovações tecnológicas no contexto de biorrefinarias: o Sistema Ambitec-Bioenergia. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2017. 34p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1077850/1/DOC23CNPAE.pdf>. Acesso em 19 de nov. 2019.

SOUZA, W.R.; PACHECO, T.F.; DUARTE, K. E.; SAMPAIO, B. L.; DE OLIVEIRA MOLINARI, P. A.; MARTINS, P. K.; SANTIAGO, T. R.; FORMIGHIERI, E. F.; VINECKY, F.; RIBEIRO, A. P.; DA CUNHA, B. A. D. B.; KOBAYASHI, A. K.; MITCHELL, R. A. C; DE SOUSA RODRIGUES GAMBETTA, D.; MOLINARI, H. B. C. Silencing of a BAHD acyltransferase in sugarcane increases biomass digestibility. *Biotechnology for Biofuels*, v. 12, 2019. Disponível em: <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-019-1450-7>.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Setor Sucroenergético. Disponível em: <https://www.unica.com.br/setor-sucroenergetico/>. Acesso em: 25 de nov. 2019).

USDA. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em 25 de nov. 2019.